

2. Japanese Pat. JP-A-2001-314996 (2001)

explained in the specification as Reference 2

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a flux-cored wire for gas shielded arc welding for heat resisting steel capable of coping with both the favorable weldability and mechanical property.

SOLUTION: The flux-cored wire for gas shielded arc welding for heat resisting steel contains a slug generating agent of 6.10-9.90 mass % to the total mass of a wire and the steel outer skin and the flux in the gross contain C of 0.20 mass % or below, Sr of 0.06-1.40 mass %, Mn of 0.55-1.60 mass %, Cu of 0.004-0.090 mass %, Ni of 0.004-0.090 mass %, Cr of 2.60 mass % or below, and Mo of 0.30-1.20 mass % to the total mass of the wire. Further, the flux contains TiO₂ of 4.2-8.2 mass %, metallic fluoride of 0.025-0.25 mass % in F- converted value, and Mg of 0.20-1.50 mass % to the total mass of the wire.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-314996
(P2001-314996A)

(43)公開日 平成13年11月13日 (2001. 11. 13)

(51)Int.Cl.⁷
B 2 3 K 35/362

識別記号

F I
B 2 3 K 35/362

ノート* (参考)
A 4 E 0 8 4

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 30 頁)

(21)出願番号 特願2000-132798(P2000-132798)

(22)出願日 平成12年5月1日 (2000. 5. 1)

(71)出願人 000001199
株式会社神戸製鋼所
兵庫県神戸市中央区臨浜町1丁目3番18号
(72)発明者 後藤 明信
神奈川県藤沢市宮前字裏河内100番1 株
式会社神戸製鋼所藤沢事業所内
(72)発明者 山下 賢
神奈川県藤沢市宮前字裏河内100番1 株
式会社神戸製鋼所藤沢事業所内
(74)代理人 100090158
弁理士 藤巻 正憲

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ

(57)【要約】

【課題】 良好な溶接作業性及び機械的性質を両立することができる耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤを提供する

【解決手段】 耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤは、ワイヤ全質量に対してスラグ造滓剤：6.10乃至9.90質量%を含有し、鋼製外皮及びフラックスは総量でワイヤ全質量に対して、C：0.20質量%以下、Si：0.06乃至1.40質量%、Mn：0.55乃至1.60質量%、Cu：0.004乃至0.090質量%、Ni：0.004乃至0.090質量%、Cr：2.60質量%以下及びMo：0.30乃至1.20質量%を含有し、更にフラックスはワイヤ全質量に対して、TiO₂：4.2乃至8.2質量%、金属弗化物：F換算値で0.025乃至0.25質量%及びMg：0.20乃至1.50質量%を含有する。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 鋼製外皮にフラックスを充填してなる耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤにおいて、ワイヤ全質量に対してスラグ造滓剤：6.10乃至9.90質量%を含有し、前記鋼製外皮及び前記フラックスは総量でワイヤ全質量に対して、C：0.20質量%以下、Si：0.06乃至1.40質量%、Mn：0.55乃至1.60質量%、Cu：0.004乃至0.090質量%、Ni：0.004乃至0.090質量%、Cr：2.60質量%以下及びMo：0.30乃至1.20質量%を含有し、更に前記フラックスはワイヤ全質量に対して、TiO₂：4.2乃至8.2質量%、金属弗化物：F換算値で0.025乃至0.25質量%及びMg：0.20乃至1.50質量%を含有することを特徴とする耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

【請求項2】 前記鋼製外皮及び前記フラックスは総量でワイヤ全質量に対して、Nb：0.005乃至0.050質量%、V：0.005乃至0.050質量%及びB：0.005乃至0.020質量%を含有し、前記鋼製外皮及び前記フラックスにおけるPの総含有量は0.015質量%以下、Sの含有量は0.015質量%以下に制限されていることを特徴とする請求項1に記載の耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

【請求項3】 前記鋼製外皮及び前記フラックスは総量でワイヤ全質量に対して、Ti：0.02乃至0.2質量%を含有することを特徴とする請求項1又は2に記載の耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はJIS Z3318-1991 モリブデン鋼及びクロムモリブデン鋼用マグ溶接フラックス入りワイヤに規定されるYFM-C、YFCM-C、YF1CM-C及びYF2CM-C又はAWS A5.29-1998 Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for flux Cored Arc Weldingに規定されるA1、A1M、B1、B1M、B1L、B1LM、B2、B2M、B2L、B2LM、B2H、B2HM、B3、B3M、B3L、B3LM、B3H及びB3HM等の耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤに関し、特に良好な溶接作業性と強度及び靱性等の機械的性質とを両立させた耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤに関する。

【0002】

【従来の技術】従来、ガスシールドアーク溶接は被覆アーク溶接に比較して高能率な溶接が可能なることから、耐熱鋼の溶接においてその適用が増加している。ガスシ

ルドアーク溶接用ワイヤには、ソリッドワイヤとフラックス入りワイヤとがある。フラックス入りワイヤは、ソリッドワイヤに比較してスパッタが少なくビード表面がスラグに覆われることにより、ビード外観又は形状が良好であるうえ、更に立向き又は上向き等の不自然な溶接姿勢においても溶接作業性が良好である等の種々の長所を有している。しかしながら、フラックス入りワイヤは溶接金属の機械的性質のうち、特に靱性がソリッドワイヤと比較して低下する傾向にある。この原因としては、例えばルチール系フラックス入りワイヤにおいては、溶融金属からの溶融スラグの浮上及び分離が不完全なため、一部が非金属介在物として溶接金属中に残留し、結果として溶接金属中の酸素量が700乃至900質量ppmと極めて多くなるとされている。

【0003】そこで、従来からルチール系フラックス入りワイヤによる溶接金属の靱性劣化を解決する方法として、溶接金属の脱酸又は組織の微細化が検討されている。

【0004】例えば特公昭59-44159号公報には、フラックス中にMg、金属Ti及びFe-Tiを添加して溶接金属の低酸素化を図り、溶接金属の靱性を改善したガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤが示されている。

【0005】また、特公昭56-6840号公報には、TiO及びTiO₂並びにB及びB₂O₃の量を規定することにより、溶接金属の脱酸と組織の微細化とを図り、大入熱溶接を行っても良好な靱性を得ることが可能なガス被包アーク溶接用複合ワイヤが示されている。

【0006】更に、特公平8-13432号公報には、Nが靱性に悪影響を及ぼすとの知見から、Ti、Ni及びBの添加に加えて金属外皮及びフラックス中に添加される全N量を制限したガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤが示されている。

【0007】また、特公平8-13432号公報及び特開平5-77086号公報には、Nb及びVを微量添加することにより、強度及び靱性に悪影響を及ぼすフェライト粒の粗大化及びフェライトバンドの発生を抑制したガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤが示されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特公昭59-44159号公報に示されているように、単なるMg及びTiの添加では、溶接金属の低酸素化が達成されず、これによる靱性の改善も得られない。一方、溶接作業性の面からはスラグ巻込みを発生させると共に、スパッタ発生量を増大させたり、ビード形状の劣化を招く等、フラックス入りワイヤの長所を大きく損なうという問題点がある。

【0009】また、特公昭56-6840号公報に記載されたガス被包アーク溶接用複合ワイヤにおいても、特

公昭59-44159号公報に記載されたフラックス入りワイヤと同様に、溶接作業性と機械的性質との両立ができないという問題点がある。

【0010】更に、特公平8-13432号公報では、溶接作業時のワイヤ突き出し長さの変動によっては、大気の巻込みを完全に防ぐことができない。この結果として、溶接金属のN量が増加してしまい、靱性の改善効果は不明確であり、また、溶接作業性も格段に優れるものではないという問題点がある。

【0011】また、特公平8-13432号公報及び特開平5-77086号公報には、Nb及びVを微量添加したガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤが示されている。確かにNb及びVの微量添加はフェライト粒及びフェライトバンドの発生を抑制するうえで有効な技術である。しかし、Nb及びVだけでは強度及び靱性の改善は困難である。更に、溶接作業性の面からはNb及びVの添加はスラグ剥離性の劣化を引き起こし、本発明が目標としている良好な溶接作業性及び機械的性質の両立を達成できるものではない。

【0012】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであって、良好な溶接作業性及び機械的性質を両立することができる耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤを提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明に係る耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤは、鋼製外皮にフラックスを充填してなる耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤにおいて、ワイヤ全質量に対してスラグ造滓剤：6.10乃至9.90質量%を含有し、前記鋼製外皮及び前記フラックスは総量でワイヤ全質量に対して、C：0.20質量%以下、Si：0.06乃至1.40質量%、Mn：0.55乃至1.60質量%、Cu：0.004乃至0.090質量%、Ni：0.004乃至0.090質量%、Cr：2.60質量%以下及びMo：0.30乃至1.20質量%を含有し、更に前記フラックスはワイヤ全質量に対して、TiO₂：4.2乃至8.2質量%、金属弗化物：F換算値で0.025乃至0.25質量%及びMg：0.20乃至1.50質量%を含有することを特徴とする。

【0014】この場合、前記鋼製外皮及び前記フラックスは総量でワイヤ全質量に対して、Nb：0.005乃至0.050質量%、V：0.005乃至0.050質量%及びB：0.005乃至0.020質量%を含有し、前記鋼製外皮及び前記フラックスにおけるPの総含有量は0.015質量%以下、Sの含有量は0.015質量%以下に制限されていることが好ましい。これにより、より一層靱性が向上する。

【0015】また、前記鋼製外皮及び前記フラックスは総量でワイヤ全質量に対して、Ti：0.02乃至0.

2質量%を含有することが好ましい。これにより、更に一層靱性が向上する。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例について詳細に説明する。本願発明者等は、第1に、溶接作業性、特に立向又は上向きといった溶接姿勢でのビード形状に対して種々検討した。その結果、ビード形状を整える上で溶融金属とスラグとの両者を同時に調整することが不可欠であることを見出した。即ち、単に溶融金属の粘性調整だけを図ったり、又はスラグ量若しくはスラグの構成成分だけを変えるのみでは、ビード形状を良化できない。この知見から得られた具体的なビード形状の調整方法は下記に示す方法がある。

①Si、Mn及びMgによる溶融金属の粘性及び流動性の調整。

②スラグの量及び主要構成成分であるTiO₂量、更に弗化物量を調整することによるスラグ自身の粘性及び流動性の最適化。

【0017】上述の①及び②を同時に行うことにより、立向又は上向といった不自然な溶接姿勢においても、良好なビード形状が得られることを見出した。

【0018】第2に、強度又は靱性等の機械的性質に対して種々検討した。この結果、上述のSi、Mn、Mg及び弗化物の他にC、Cr及びMoが影響を及ぼし、また、

③Cu及びNiが強度又は靱性等の機械的性質に対して重大な影響を及ぼすことを見出した。

【0019】更に、アークの安定性が、実は溶着金属の偏析度合いも左右しており、アークの安定性が乏しいフラックス入りワイヤにより製作された溶着金属には、合金成分の偏析が多く、PWH T (Post-Weld heat treatment：溶接後熱処理)によるフェライトバンドの発生を助長させ、結果として強度又は靱性の劣化を引き起こしていることを見出した。即ち、アークの安定性向上が溶着金属の機械的性質の向上につながるという知見から、アーク安定剤について検討を種々行った。この結果、④主要アーク安定剤であるTiO₂、弗化物及び各量の最適化することを見出した。上述の①乃至④を同時に行うことにより、本発明が目的とする良好な溶接作業性と機械的性質との両立が可能となる。

【0020】以下、本発明の耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤの数値限定理由について説明する。

【0021】スラグ造滓剤：6.10乃至9.90質量%

本発明において、スラグ造滓剤とは非金属成分のことを指し、具体的には本発明の特徴の元素でもあるTiO₂及び弗化物である。この他に、スラグ塩基度の調整並びにスラグの融点、粘性及び流動性の微調整のために使用するAl₂O₃、ZrO₂、SiO₂、CaO及びMgO、

アーク状態の微調整に使用する K_2O 、 Na_2O 及び Li_2O 等も指す。これらをも含めたスラグ造滓剤は、後述する TiO_2 、 Si 、 Mn 、弗化物及び Mg との複合効果により、下向き及び水平すみ肉のみならず、立向き又は上向き溶接におけるビード形状を良好にするうえ、溶接金属の健全性を高める作用を有している。スラグ造滓剤の含有量がワイヤ全質量に対して6.10質量%未満では、スラグ量が不足してビード表面を覆うことができず、ビード外観が著しく損なわれる。更に立向き又は上向きといった溶接姿勢ではビード形状が著しい凸ビードとなり、その溶接作業は極めて困難になる。また、スラグ量の不足はスラグ剥離性の劣化も引き起こし、部分的なスラグ焼き付きが発生してスラグ巻込み又は融合不良といった溶接欠陥発生の原因ともなる。一方、スラグ造滓剤の含有量がワイヤ全質量に対して9.90質量%を超えると、溶融プールが定常的にスラグに覆われてしまうスラグの先行現象が発生し、やはりスラグ巻込み又は融合不良といった溶接欠陥発生の原因となる。従って、スラグ造滓剤の含有量はワイヤ全質量に対して6.10乃至9.90質量%とする。

【0022】C: 0.20質量%以下

Cは溶接金属の強度及び靱性を調整する目的で、金属外皮及びフラックスのいずれか一方又は双方に添加する。しかし、Cが金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.20質量%を超えて添加されると、溶接金属の強度が過度に高まり、靱性が極めて低下するうえ、高温割れ又はブローホール等の溶接欠陥を引き起こす。従って、Cの含有量は金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.20質量%以下とする。なお、Cをフラックスに添加する場合には、グラファイト、クロムカーバイト、 $Si-C$ 、高C- $Fe-Mn$ 及び高C- $Fe-Cr$ 等のCの単体又は合金類を使用する。

【0023】Si: 0.06乃至1.40質量%

Si は溶接金属を脱酸して強度及び靱性を調整する作用と、スラグ造滓剤の量を最適化すると共に、 Mn 、 TiO_2 、弗化物及び Mg と複合添加することによって、ビード形状を整える作用とを有する。このため、金属外皮及びフラックスのいずれか一方又は双方に添加する。しかし、 Si の含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.06質量%未満では、十分な脱酸効果が得られず、ブローホール等の溶接欠陥を引き起こすと共に、また強度及び靱性が得られない。また、溶融金属の粘性が不足して、立向き又は上向き溶接におけるビード形状の劣化を引き起こす。一方、 Si の含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して1.40質量%を超えると、PWH T時の溶接金属においてフェライト粒の粗大化を助長して靱性が著しく損なわれる。従って、 Si の含有量は金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.06乃至1.4

0質量%とする。なお、 Si を金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.10質量%以上含有させることにより、溶接金属の脱酸効果が安定化して、強度及び靱性のばらつきが抑制されるので好ましい。このため、好ましくは Si の含有量は金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.10乃至1.40質量%とする。また、 Si をフラックスに添加する場合には、 $Fe-Si$ 、 $Fe-Si-Mn$ 及び $Fe-Si-Cr$ 等の合金類を使用する。

10 【0024】Mn: 0.55乃至1.60質量%

Mn は溶接金属を脱酸して強度及び靱性を調整する作用と、スラグ造滓剤の量を最適化すると共に、 Si 、 TiO_2 、弗化物及び Mg と複合添加することによって、ビード形状を整える作用とを有する。このため、金属外皮及びフラックスのいずれか一方又は双方に添加する。しかし、 Mn の含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.55質量%未満では十分な脱酸効果が得られず、ブローホール等の溶接欠陥を引き起こす。また、強度及び靱性が得られない。一方、 Mn の含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して1.60質量%を超えると、溶融金属の流動性が過度となり、例えば立向き及び上向き等の不自然な溶接姿勢でのビード形状が著しく劣化し実用に耐えない。従って、 Mn の含有量は金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.55乃至1.60質量%とする。なお、 Mn の含有量を金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して1.45質量%以下にすることにより、ビード形状はより一層良好になる。このため、より好ましい Mn の含有量は金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.55乃至1.45質量%である。また、 Mn をフラックスに添加する場合には、金属 Mn 、 $Fe-Mn$ 及び $Fe-Si-Mn$ 等といった Mn の金属単体又は合金類を使用する。

20 【0025】Cu: 0.004乃至0.090質量%、Ni: 0.004乃至0.090質量%

Cu 及び Ni はいずれも溶接金属の強度及び靱性のばらつきを抑制する作用を有している。金属外皮及びフラックスのいずれか一方又は双方に添加することができる。しかし、 Cu 及び Ni はいずれも含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.004質量%未満では、溶接金属の強度及び靱性のばらつきを抑制する効果がない。一方、 Cu 及び Ni はいずれも含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.090質量%を超えると、溶接金属の強度が低下する。従って、 Cu の含有量は金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.004乃至0.090質量%とし、 Ni の含有量は金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.004乃至0.090質量%とする。なお、 Cu 又は Ni をフラックスに添加する場合には、金属 Cu 又は金属 Ni 等の金属単体

又は各種の合金類を使用する。また、シームレスワイヤの場合には、Cuめっき、Niめっき又はこれらの複合めっき等の各種ワイヤの表面処理により添加してもかまわない。

【0026】Cr: 2.60質量%以下、Mo: 0.30乃至1.20質量%

Cr及びMoはいずれも溶接金属の強度と靱性を調整する目的で、金属外皮及びフラックスのいずれか一方又は双方に添加する。Moは溶接金属の焼き戻し軟化抵抗を高め、PWH Tによる強度低下を抑制する効果を有する。なお、これらの成分添加量は溶接金属が被溶接物と同一成分となるように適宜調整する。しかし、Moの含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.30質量%未満では十分な強度及び靱性が得られない。一方、Crの含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して2.60質量%を超えるか、又はMoの含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して1.20質量%を超えると、強度が過度に高くなり、かつ焼き戻し脆化が助長されて靱性が極めて劣化する。従って、Crの含有量は金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して2.60質量%以下、Moの含有量は金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.30乃至1.20質量%とする。なお、Cr又はMoをフラックスに添加する場合、Fe-Cr、金属Cr、Fe-Mo又は金属Mo等の金属単体又は合金類を使用する。

【0027】TiO₂: 4.2乃至8.2質量%

TiO₂はスラグ形成剤の主要成分であり、アーク安定剤としても作用する他に、スラグ造滓剤の量を最適化すると共に、Si、Mn、弗化物及びMgと複合添加することにより、ビード形状を整える作用を有する。このため、フラックスに添加する。しかし、TiO₂の含有量がワイヤ全質量に対して4.2質量%未満であると、ビード形状が劣化すると共に、アーク安定性が損なわれてスパッタ発生量が増大し、溶接作業性が実用に耐えない。一方、TiO₂の含有量がワイヤ全質量に対して8.2質量%を超えると、スラグの粘性が極端に大きくなり、スラグ巻込み等の溶接欠陥を引き起こす。従って、TiO₂の含有量はワイヤ全質量に対して4.2乃至8.2質量%とする。

【0028】金属弗化物: F換算値で0.025乃至0.25質量%

金属弗化物は、アーク安定剤として、更に溶融スラグの粘性を調整してスラグ造滓剤の量を最適化すると共に、Si、Mn、TiO₂及びMgと複合添加することにより、ビード形状を整える作用を有する。また、アーク中で解離しガス化した弗素ガスが溶融金属の攪拌を促進する。この結果、溶融金属からのスラグの浮上及び分離を促し、溶接金属の酸素量を低減する2次的作用も有する。このため、フラックスに添加する。しかし、金属弗

化物の含有量がF換算値でワイヤ全質量に対して0.025質量%未満では上述のビード形状を整える効果及び溶接金属の酸素量を低減する効果を得ることができない。また、アークの安定性が損なわれてスパッタ発生量が増大すると共に、ビード形状が劣化するうえ、靱性が得られない。一方、金属弗化物の含有量がF換算値でワイヤ全質量に対して0.25質量%を超えると、スラグの流動性が過剰となり、スラグの被包性が損なわれ、ビード形状が著しく劣化する。従って、金属弗化物の含有量はF換算値でワイヤ全質量に対して0.025質量%乃至0.25質量%とする。なお、金属弗化物としては、LiF、NaF、K₂SiF₆、CaF₂、MgF₂、BaF₂又はCeF₃等を使用する。

【0029】Mg: 0.20乃至1.50質量%

Mgは強力な脱酸剤であり、溶接金属の脱酸とこれによる靱性向上の目的でフラックスに添加する。しかし、Mgの含有量がワイヤ全質量に対して0.20質量%未満では十分な脱酸効果を得られず、ブローホールの発生又は靱性の劣化を引き起こす。また、Mgの含有量がワイヤ全質量に対して1.50質量%を超えると、スパッタの発生量が増大するうえ、溶融金属の流動性が増大してしまい、スラグ造滓剤の量を最適化すると共に、Si、Mn、TiO₂、弗化物及びMgの各量を本発明の範囲内としても、立向き又は上向き溶接時のビード形状を極めて損ねてしまう。従って、Mgの含有量はワイヤ全質量に対して0.20乃至1.50質量%とする。なお、Mg源としては、金属Mg、Al-Mg、Si-Mg又はNi-Mgといった金属単体又は合金類を使用する。

【0030】以上の説明が本発明において、根幹をなす特徴であり、いずれか1つが欠けても良好な溶接作業性と強度及び靱性等の機械的性質との両立は達成できない。なお、下記に示す元素を更に添加することにより、強度及び靱性がより一層の安定化すると共に、強度及び靱性の向上が図れるので好ましい。

【0031】Nb: 0.005乃至0.050質量%、V: 0.005乃至0.050質量%

Nb及びVは強力な炭化物形成元素であり、適量の添加でビードとビードとの境目のCを固定し、PWH T時の溶接金属中におけるフェライト粒の粗大化とフェライトバンドの発生とを抑制して靱性の劣化を抑える作用を有している。このため、金属外皮及びフラックスのいずれか一方又は両方に添加してもよい。添加する場合、Nbの含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.005質量%未満又はVの含有量が金属外皮及びフラックスの金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.005質量%未満では、靱性の劣化を抑える十分な効果が得られない。一方、Nbの含有量が金属外皮及びフラックスの金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.050質量%を超えるか、又はVの含有量が金属外皮及びフラックスの

金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.050質量%を超えて添加しても特段の効果は認められない。従って、Nbの含有量は金属外皮及びフラックスの金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.005乃至0.050質量%とし、Vの含有量は金属外皮及びフラックスの金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.005乃至0.050質量%とすることが好ましい。なお、フラックスにNb又はVを添加する場合、金属単体又はFe-Nb若しくはFe-V等の合金類の他、各種酸化物に含まれる微量成分としても添加することが可能である。

【0032】 B: 0.005乃至0.020質量%

Bは溶接金属のミクロ組織を微細化して靱性を向上させる効果がある。このため、金属外皮及びフラックスのいずれか一方又は両方に添加することができる。Bを添加する場合、Bの含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.005質量%では靱性を向上させる十分な効果が得られない。一方、Bの含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.020質量%を超えても、特段の効果は認められない。従って、Bの含有量は金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.005乃至0.020質量%とすることが好ましい。なお、Bをフラックスに添加する場合、Fe-B若しくはFe-Si-B等の合金類又はB₂O₃等の酸化物等のいずれの形態で添加することも可能である。

【0033】 Pの総含有量: 0.015質量%以下に制限
Sの総含有量: 0.015質量%以下に制限

P及びSは溶接金属のPWH Tによる脆化を引き起こす成分であり、これらを制限することは靱性の安定化又は向上のために好ましい。従って、Pの総含有量を金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.015質量%以下に制限し、Sの総含有量を金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.015質量%以下に制限してもよい。

【0034】 Ti: 0.02乃至0.2質量%

Tiはアークの安定化及び溶接金属の脱酸を目的として、金属外皮及びフラックスのいずれか一方又は両方に添加することができる。Tiを添加する場合、Tiの含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.02質量%未満では、アークの安定化及び溶接金属の脱酸について十分な効果を得ることができない。一方、Tiの含有量が金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.2質量%を超えても、特段の効果は認められない。従って、Tiの含有量は金属外皮及びフラックスの総量でワイヤ全質量に対して0.02乃至0.2質量%とすることが好ましい。なお、Tiをフラックスに添加する場合、金属Ti又はFe-Ti等の金属単体又は合金類を使用する。

【0035】 なお、シールドガスとしては、100% C

O₂ガスの他、ArとCO₂との混合ガス、ArとO₂との混合ガス並びにAr、CO₂及びO₂の3種混合ガス等の、いずれの組成のガスでも使用可能である。また、鋼製外皮は軟鋼及び合金鋼のいずれのものでも使用することができる。更に鋼製外皮の断面形状は特に限定されるものではなく、合わせ目があってもなくてもよい。なお、合わせ目がない断面形状の場合、本発明の主要要件の1つであるCu及びNi成分をワイヤ表面にめっきして添加することも可能である。

【0036】

【実施例】以下、本発明の範囲に入る耐熱鋼用ガスシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤの実施例について、その特性を比較例と比較して具体的に説明する。

【0037】 第1実施例

下記表1及び2に示す組成の鋼製外皮を使用して下記表3乃至18に示すフラックス入りワイヤを製作した。なお、ワイヤの直径は全て1.2mmとした。なお、下記表3乃至18に示す「<」は未満であることを示し、また、金属弗化物は総F量として示した。また、表9及び10、表13及び14並びに表17及び18に示したスラグ造滓剤を構成するTiO₂、SiO₂、Al₂O₃、ZrO₂、MgO、その他、NaF、K₂SiF₆及びCeF₂並びに総F量の含有量はワイヤ全質量に対する量である。

【0038】各フラックス入りワイヤを使用して試験板を作製し、このときの溶接作業性を評価した。また、試験板の溶着金属の放射線透過試験、PWH T後の溶着金属の引張試験及び衝撃試験を実施し、引張性能及び衝撃性能を評価した。図1は本発明の実施例で作製される試験板を示す断面図である。

【0039】試験板の作製方法について説明する。先ず、突合せ部の開先角度が45°に形成された1対の鋼板1を配置し、更に開先の裏面側に裏当材2を配置する。そして、上記表3乃至表18に示す各フラックス入りワイヤを使用し、下記表19に示す溶接条件でこの開先部を表面側から6層12パスの多層肉盛溶接し、開先に多層の溶着金属3を形成する。これにより、試験板が作製される。その後PWH Tを施し、上述の各試験に供した。なお、鋼板1については、ワイヤNo. 1乃至23及び31乃至55においては、ASTM A387 Gr. 22を使用し、ワイヤNo. 24乃至26においては、ASTM A387 Gr. 11を使用し、ワイヤNo. 27及び28においては、ASTM A204 Gr. Aを使用し、ワイヤNo. 29及び30においては、ASTM A387 Gr. Aを使用した。

【0040】溶接作業性については、鋼板1を下向溶接にて作製した上述の試験板の他に、上述の表3及び表18に示す各ワイヤを使用して下記表20に示す溶接条件で、鋼板1を使用して立向すみ肉溶接を行い、下向及び立向溶接時のアーク安定性、スラグ剥離性、スパッタ発

生量及びビード形状を官能評価した。

【0041】溶着金属の放射線試験の評価については、放射線試験の結果がJIS1級であれば、良好とし、それ以下を不良とした。一方、溶着金属の引張性能及び衝撃性能については、AWS A5.29-1998及びJIS Z3318-1991に規定された性能を満足するかどうかを評価した。引張性能及び衝撃性能の合格範囲を下記表21に示す。なお、ワイヤNo.1乃至23及び31乃至55と、ワイヤNo.24乃至26、ワイヤNo.27及び28並びにワイヤNo.29及び30とでは溶接する鋼板が異なるため、引張性能及び衝撃性能の合格範囲が異なる。

【0042】衝撃試験は、切り込み深さが2mmのV字の切欠が形成された試験片を使用し、0℃の温度で、試

験を3回行い、その平均値を求めた。なお、溶接金属の化学成分は図1に示すように試験板の溶接金属中央でかつ板厚中央の位置から直径が10mmのドリルにて分析用試料を採取して化学分析することにより求めた。

【0043】上述の試験結果を表22乃至表37に示す。なお、表24、28、32及び36に示す放射線透過試験の備考の欄において、「HC」は高温割れが生じたことを示し、「BH」はブローホールが発生したことを示し、「SI」はスラグ巻き込みが発生したことを示す。また、表22、23、26、27、30、31及び35に示す「<」は未満であることを示す。

【0044】

【表1】

鋼種	外皮 区分	鋼製外皮の組成 (質量%)						
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
軟鋼	A	0.036	0.005	0.200	0.012	0.007	0.013	0.014
	B	0.020	0.030	0.300	0.010	0.010	0.005	0.005
	C	0.010	0.005	0.250	0.006	0.004	0.011	0.012
Cr-Mo 鋼	D	0.025	0.500	1.140	0.003	0.007	0.012	0.084
	E	0.031	0.480	1.100	0.007	0.005	0.013	0.031

【0045】

【表2】

鋼種	外皮 区分	鋼製外皮の組成 (質量%)						
		Cr	Mo	Ti	Nb	V	B	N
軟鋼	A	0.020	0.005	0.001	0.003	0.001	0.0001	0.0024
	B	0.013	0.009	0.005	0.004	0.004	0.0001	0.0030
	C	0.019	0.002	0.001	0.003	0.001	0.0001	0.0033
Cr-Mo 鋼	D	1.390	0.480	0.002	0.003	0.003	0.0001	0.0080
	E	2.440	1.100	0.001	0.003	0.004	0.0001	0.0090

【0046】

【表3】

	ワイ No.	外皮 区分	フラックス率 (質量%)	スラグ造滓 剤(質量%)	ワイヤの組成 (質量%)			
					C	Si	Mn	P
実 施 例	1	A	13.50	7.02	0.032	0.405	0.851	0.016
	2	A	13.50	7.09	0.147	0.172	0.819	0.017
	3	A	11.50	6.44	0.068	0.077	0.680	0.014
	4	A	15.50	7.86	0.059	1.328	0.635	0.015
	5	A	11.50	6.44	0.068	0.165	0.566	0.014
	6	A	13.50	7.02	0.055	0.117	1.539	0.014
	7	B	11.00	6.61	0.034	0.135	0.653	0.012
	8	B	11.50	6.91	0.034	0.140	0.669	0.012
	9	A	15.00	7.80	0.074	0.490	0.985	0.014
	10	A	15.00	7.61	0.066	1.068	1.069	0.015
	11	A	15.00	7.61	0.066	0.551	1.056	0.014
	12	A	12.00	6.72	0.061	0.277	0.683	0.014
	13	A	16.00	9.50	0.116	0.485	1.058	0.015
	14	A	13.00	7.25	0.063	0.273	0.914	0.014
	15	A	13.00	7.25	0.063	0.273	0.914	0.014

【0047】

【表4】

	ワイ No.	ワイヤの組成 (質量%)							
		S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	V
実 施 例	1	0.016	0.011	0.012	2.116	0.925	<0.005	<0.005	<0.005
	2	0.016	0.011	0.012	2.277	0.934	<0.005	<0.005	<0.005
	3	0.013	0.012	0.012	2.061	0.904	<0.005	0.017	0.020
	4	0.013	0.011	0.012	2.185	1.013	<0.005	0.020	0.024
	5	0.013	0.012	0.012	2.084	0.904	<0.005	0.017	0.020
	6	0.013	0.011	0.012	2.115	0.976	<0.005	0.018	0.021
	7	0.015	0.008	0.013	1.977	0.834	<0.005	0.017	0.022
	8	0.015	0.014	0.008	2.066	0.872	<0.005	0.018	0.022
	9	0.013	0.011	0.012	2.417	0.981	<0.005	0.020	0.024
	10	0.013	0.011	0.012	2.201	0.981	<0.005	0.019	0.023
	11	0.013	0.011	0.012	2.215	0.981	<0.005	0.019	0.023
	12	0.013	0.011	0.012	2.174	0.943	<0.005	0.014	0.016
	13	0.013	0.011	0.012	2.091	1.006	<0.005	0.024	0.029
	14	0.013	0.011	0.012	2.132	0.997	<0.005	0.019	0.023
	15	0.013	0.011	0.012	2.158	0.981	<0.005	0.019	0.022

【0048】

【表5】

	ワイ No.	ワイヤの組成(質量%)			スラグ造滓剤(質量%)			
		B	N	Mg	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂
実 施 例	1	<0.002	0.002	1.079	6.244	0.357	0.042	0.000
	2	<0.002	0.002	0.944	6.244	0.388	0.024	0.000
	3	0.007	0.002	0.804	5.559	0.335	0.056	0.000
	4	0.014	0.002	0.310	6.717	0.442	0.010	0.000
	5	0.007	0.002	0.689	5.559	0.335	0.056	0.000
	6	0.012	0.002	0.944	6.019	0.387	0.009	0.000
	7	0.007	0.003	0.330	5.238	0.439	0.084	0.000
	8	0.008	0.003	0.345	5.476	0.459	0.088	0.000
	9	0.013	0.002	1.049	6.688	0.430	0.010	0.000
	10	0.013	0.002	0.225	6.500	0.428	0.010	0.000
	11	0.013	0.002	1.424	6.500	0.428	0.010	0.000
	12	0.008	0.002	0.480	4.391	1.503	0.073	0.000
	13	0.010	0.002	0.639	8.120	0.389	0.008	0.000
	14	0.008	0.002	0.649	6.410	0.380	0.063	0.000
	15	0.008	0.002	0.649	6.260	0.176	0.005	0.000

【0049】

【表6】

	ワイ No.	スラグ造滓剤(質量%)						
		MgO	その他	NaF	K ₂ SiF ₆	CeF ₃	CaF ₂	総F量
実 施 例	1	0.000	0.095	0.146	0.094	0.000	0.039	0.134
	2	0.066	0.081	0.146	0.134	0.000	0.000	0.135
	3	0.000	0.241	0.237	0.000	0.000	0.000	0.107
	4	0.000	0.355	0.168	0.154	0.000	0.000	0.156
	5	0.000	0.241	0.237	0.000	0.000	0.000	0.107
	6	0.000	0.313	0.146	0.134	0.000	0.000	0.135
	7	0.000	0.310	0.216	0.033	0.274	0.000	0.194
	8	0.000	0.324	0.226	0.034	0.286	0.000	0.203
	9	0.000	0.348	0.162	0.149	0.000	0.000	0.151
	10	0.000	0.345	0.310	0.000	0.000	0.000	0.140
	11	0.000	0.345	0.310	0.000	0.000	0.000	0.140
	12	0.000	0.265	0.248	0.000	0.219	0.000	0.175
	13	0.000	0.385	0.094	0.000	0.491	0.000	0.185
	14	0.000	0.291	0.000	0.000	0.097	0.000	0.028
	15	0.000	0.253	0.441	0.000	0.108	0.000	0.231

【0050】

【表7】

	ワイ No.	外皮 区分	フラックス率 (質量%)	スラグ造滓 剤(質量%)	ワイヤの組成 (質量%)			
					C	Si	Mn	P
実 施 例	16	A	15.00	7.61	0.066	1.067	1.069	0.015
	17	A	15.50	7.86	0.067	1.103	0.789	0.015
	18	A	12.00	6.24	0.061	0.482	0.685	0.014
	19	A	16.00	9.74	0.115	0.506	0.974	0.015
	20	C	13.50	7.02	0.033	0.346	1.147	0.009
	21	C	15.00	7.61	0.044	0.846	0.877	0.009
	22	D	13.50	7.02	0.032	0.767	1.096	0.006
	23	E	13.50	7.02	0.036	0.741	1.065	0.010
	24	A	15.00	7.80	0.057	0.566	1.209	0.014
	25	C	15.00	7.80	0.035	0.566	1.251	0.009
	26	D	13.50	7.02	0.031	0.758	1.100	0.006
	27	A	15.00	7.76	0.046	0.563	1.204	0.014
	28	C	15.00	7.76	0.024	0.563	1.247	0.009
	29	A	15.00	7.76	0.047	0.576	0.650	0.014
	30	C	15.00	7.76	0.024	0.576	0.693	0.009

【0051】

【表8】

	ワイ No.	ワイヤの組成 (質量%)							
		S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	V
実 施 例	16	0.013	0.011	0.012	2.201	0.943	0.034	0.019	0.022
	17	0.013	0.011	0.012	2.212	0.965	0.197	0.019	0.023
	18	0.013	0.011	0.012	2.174	0.943	<0.005	0.014	0.016
	19	0.013	0.011	0.012	2.091	1.006	<0.005	0.023	0.028
	20	0.010	0.010	0.010	2.115	0.881	<0.005	0.018	0.021
	21	0.010	0.009	0.010	2.250	1.025	<0.005	0.017	0.020
	22	0.012	0.011	0.073	2.042	1.007	<0.005	0.018	0.023
	23	0.010	0.012	0.027	2.111	1.036	<0.005	0.018	0.024
	24	0.012	0.011	0.012	1.297	0.464	<0.005	0.020	0.024
	25	0.010	0.010	0.010	1.296	0.462	<0.005	0.020	0.024
	26	0.012	0.011	0.073	1.203	0.500	<0.005	0.018	0.023
	27	0.012	0.011	0.012	0.018	0.464	<0.005	0.020	0.024
	28	0.010	0.010	0.010	0.017	0.462	<0.005	0.020	0.024
	29	0.012	0.011	0.012	0.542	0.464	<0.005	0.020	0.024
	30	0.010	0.010	0.010	0.541	0.462	<0.005	0.020	0.024

【0052】

【表9】

	ワイ No.	ワイヤの組成(質量%)			スラグ造滓剤(質量%)			
		B	N	Mg	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂
実施例	16	0.013	0.002	0.210	6.211	0.473	0.159	0.101
	17	0.014	0.002	0.217	6.418	0.489	0.164	0.104
	18	0.008	0.002	0.480	4.391	1.035	0.067	0.000
	19	0.010	0.002	0.400	7.935	0.809	0.013	0.000
	20	0.012	0.003	0.944	6.019	0.387	0.009	0.000
	21	0.013	0.003	0.599	6.743	0.356	0.012	0.000
	22	0.012	0.007	0.944	6.019	0.387	0.009	0.000
	23	0.012	0.008	0.944	6.019	0.387	0.009	0.000
	24	0.013	0.002	1.049	6.688	0.430	0.010	0.000
	25	0.013	0.003	1.049	6.688	0.430	0.010	0.000
	26	0.012	0.007	0.944	6.019	0.387	0.009	0.000
	27	<0.002	0.002	1.049	6.688	0.449	0.004	0.000
	28	<0.002	0.003	1.049	6.688	0.449	0.004	0.000
	29	<0.002	0.002	1.049	6.688	0.449	0.004	0.000
	30	<0.002	0.003	1.049	6.688	0.449	0.004	0.000

【0053】

【表10】

	ワイ No.	スラグ造滓剤(質量%)						
		MgO	その他	NaF	K ₂ SiF ₆	CeF ₃	CaF ₂	総F量
実施例	16	0.000	0.339	0.310	0.000	0.000	0.000	0.140
	17	0.000	0.351	0.320	0.000	0.000	0.000	0.145
	18	0.000	0.264	0.248	0.000	0.219	0.000	0.175
	19	0.000	0.381	0.094	0.000	0.491	0.000	0.185
	20	0.000	0.313	0.146	0.134	0.000	0.000	0.135
	21	0.000	0.183	0.310	0.000	0.000	0.000	0.140
	22	0.000	0.313	0.146	0.134	0.000	0.000	0.135
	23	0.000	0.313	0.146	0.134	0.000	0.000	0.135
	24	0.000	0.348	0.162	0.149	0.000	0.000	0.151
	25	0.000	0.348	0.162	0.149	0.000	0.000	0.151
	26	0.000	0.313	0.146	0.134	0.000	0.000	0.135
	27	0.000	0.289	0.162	0.149	0.000	0.000	0.151
	28	0.000	0.289	0.162	0.149	0.000	0.000	0.151
	29	0.000	0.289	0.162	0.149	0.000	0.000	0.151
	30	0.000	0.289	0.162	0.149	0.000	0.000	0.151

【0054】

【表11】

	ワイ No.	外皮 区分	フラックス率 (質量%)	スラグ造滓 剤(質量%)	ワイヤの組成 (質量%)			
					C	Si	Mn	P
比較 例	31	A	16.40	8.20	0.211	1.061	1.088	0.017
	32	A	11.50	6.33	0.039	0.011	0.935	0.016
	33	A	16.00	8.64	0.033	1.468	0.688	0.017
	34	A	15.00	8.25	0.053	1.028	0.524	0.017
	35	A	15.00	8.25	0.052	0.529	1.673	0.016
	36	B	12.00	6.78	0.036	0.256	0.946	0.015
	37	A	11.00	6.22	0.048	0.090	0.564	0.016
	38	B	11.00	6.61	0.034	0.144	0.670	0.015
	39	A	11.00	6.61	0.048	0.117	0.564	0.016
	40	A	16.50	8.91	0.076	0.376	1.159	0.017
	41	A	15.50	9.15	0.064	0.965	1.262	0.017
	42	A	15.50	9.15	0.032	0.534	0.856	0.016
	43	A	15.50	9.46	0.032	0.535	0.855	0.017
	44	A	15.50	9.61	0.032	0.535	0.855	0.016
	45	A	16.00	8.80	0.034	1.010	1.342	0.016

【0055】

【表12】

	ワイ No.	ワイヤの組成 (質量%)							
		S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	V
比較 例	31	0.016	0.011	0.012	2.045	0.928	<0.005	<0.005	<0.005
	32	0.016	0.012	0.012	2.221	0.896	<0.005	<0.005	<0.005
	33	0.015	0.011	0.012	1.946	0.906	<0.005	<0.005	<0.005
	34	0.015	0.011	0.012	2.017	0.849	<0.005	<0.005	<0.005
	35	0.016	0.011	0.012	2.114	0.849	<0.005	<0.005	<0.005
	36	0.018	0.004	0.040	2.024	0.947	<0.005	<0.005	<0.005
	37	0.016	0.110	0.012	2.115	1.037	<0.005	<0.005	<0.005
	38	0.018	0.010	0.004	2.005	0.834	<0.005	<0.005	<0.005
	39	0.016	0.012	0.100	1.999	0.831	<0.005	<0.005	<0.005
	40	0.015	0.011	0.012	2.655	0.830	<0.005	0.003	0.005
	41	0.015	0.011	0.012	2.369	0.276	<0.005	0.003	0.004
	42	0.016	0.011	0.012	2.075	1.324	<0.005	0.003	0.004
	43	0.016	0.011	0.012	1.998	0.975	<0.005	0.003	0.003
	44	0.016	0.011	0.012	1.998	0.975	<0.005	0.003	0.005
	45	0.015	0.011	0.012	2.291	0.806	<0.005	0.003	0.005

【0056】

【表13】

	ワイ No.	ワイヤの組成(質量%)			スラグ造滓剤(質量%)			
		B	N	Mg	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂
比較 例	31	<0.002	0.002	1.040	6.914	0.420	0.110	0.000
	32	<0.002	0.002	1.034	5.514	0.319	0.074	0.000
	33	<0.002	0.002	0.240	7.704	0.289	0.077	0.000
	34	<0.002	0.002	0.375	7.223	0.360	0.072	0.000
	35	<0.002	0.002	0.524	7.178	0.445	0.075	0.000
	36	<0.002	0.003	0.360	5.922	0.292	0.062	0.000
	37	<0.002	0.002	0.330	5.429	0.327	0.054	0.000
	38	<0.002	0.003	0.330	5.434	0.380	0.086	0.000
	39	<0.002	0.002	0.330	5.434	0.440	0.083	0.000
	40	0.000	0.002	1.319	7.615	0.292	0.077	0.000
	41	0.000	0.002	0.418	7.154	0.710	0.074	0.520
	42	0.000	0.002	0.310	7.154	0.620	0.072	0.520
	43	0.000	0.002	0.619	4.119	3.879	0.119	0.822
	44	0.000	0.002	0.465	8.315	0.565	0.011	0.302
	45	0.000	0.002	0.192	7.385	0.470	0.228	0.000

【0057】

【表14】

	ワイ No.	スラグ造滓剤(質量%)						
		MgO	その他	NaF	K ₂ SiF ₆	CeF ₃	CaF ₂	総F量
比較 例	31	0.321	0.118	0.177	0.000	0.136	0.000	0.120
	32	0.067	0.095	0.181	0.000	0.048	0.022	0.107
	33	0.172	0.090	0.173	0.000	0.133	0.000	0.117
	34	0.000	0.135	0.310	0.149	0.000	0.000	0.217
	35	0.000	0.063	0.442	0.045	0.000	0.000	0.223
	36	0.000	0.113	0.354	0.036	0.000	0.000	0.179
	37	0.000	0.045	0.324	0.033	0.000	0.000	0.164
	38	0.000	0.147	0.433	0.033	0.091	0.000	0.239
	39	0.000	0.088	0.433	0.033	0.091	0.000	0.239
	40	0.186	0.123	0.341	0.000	0.274	0.000	0.233
	41	0.000	0.196	0.000	0.231	0.257	0.000	0.194
	42	0.000	0.200	0.320	0.000	0.257	0.000	0.219
	43	0.000	0.163	0.320	0.000	0.000	0.000	0.145
	44	0.000	0.093	0.320	0.000	0.000	0.000	0.145
	45	0.000	0.131	0.157	0.080	0.345	0.000	0.212

【0058】

【表15】

	ワイ No.	外皮 区分	フラックス率 (質量%)	スラグ造滓 剤(質量%)	ワイヤの組成 (質量%)			
					C	Si	Mn	P
比較 例	46	A	15.50	8.37	0.074	0.490	0.883	0.017
	47	A	15.50	8.37	0.064	0.709	0.687	0.017
	48	A	15.50	8.37	0.064	0.709	0.687	0.017
	49	A	11.50	5.96	0.072	0.168	0.609	0.017
	50	A	17.00	10.10	0.066	0.631	0.742	0.016
	51	A	11.50	6.56	0.039	0.036	0.499	0.016
	52	A	15.50	9.75	0.031	0.284	0.854	0.017
	53	A	11.50	5.96	0.062	0.042	0.506	0.017
	54	A	17.00	10.10	0.066	0.631	0.742	0.017
	55	A	16.00	8.64	0.032	1.480	0.438	0.017

【0059】

【表16】

	ワイ No.	ワイヤの組成 (質量%)							
		S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	V
比較 例	46	0.015	0.011	0.012	2.082	0.877	<0.005	0.003	0.004
	47	0.015	0.011	0.012	2.082	0.877	<0.005	0.003	0.004
	48	0.015	0.011	0.012	2.082	0.877	<0.005	0.003	0.005
	49	0.015	0.012	0.012	2.148	0.919	<0.005	0.003	0.004
	50	0.015	0.011	0.012	2.053	0.962	<0.005	0.003	0.005
	51	0.015	0.012	0.012	2.221	0.896	<0.005	0.003	0.004
	52	0.016	0.011	0.012	1.997	0.975	<0.005	0.003	0.003
	53	0.016	0.012	0.012	2.084	0.868	<0.005	0.003	0.004
	54	0.015	0.011	0.012	2.053	0.962	<0.005	0.003	0.003
	55	0.015	0.011	0.012	2.015	0.906	<0.005	0.003	0.005

【0060】

【表17】

	ワイ No.	ワイヤの組成(質量%)			スラグ造滓剤(質量%)			
		B	N	Mg	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂
比較 例	46	0.000	0.002	1.548	7.154	0.274	0.250	0.000
	47	0.000	0.002	1.239	7.154	0.751	0.163	0.000
	48	0.000	0.002	1.239	7.316	0.168	0.060	0.000
	49	0.000	0.002	0.919	5.285	0.332	0.055	0.000
	50	0.000	0.002	1.274	8.152	1.219	0.187	0.000
	51	0.000	0.002	1.034	5.514	0.544	0.077	0.000
	52	0.000	0.002	0.619	4.119	3.879	0.119	0.882
	53	0.000	0.002	0.919	5.285	0.332	0.055	0.000
	54	0.000	0.002	1.274	4.076	4.675	0.530	0.000
	55	0.000	0.002	0.240	7.704	0.289	0.077	0.000

【0061】

【表18】

	ワイヤ No.	スラグ造滓剤(質量%)						
		MgO	その他	NaF	K ₂ SiF ₆	CeF ₃	CaF ₂	総F量
比較例	46	0.000	0.113	0.320	0.000	0.257	0.000	0.219
	47	0.000	0.213	0.000	0.000	0.077	0.000	0.022
	48	0.000	0.120	0.213	0.092	0.399	0.000	0.260
	49	0.000	0.043	0.124	0.114	0.000	0.000	0.115
	50	0.000	0.136	0.217	0.169	0.000	0.000	0.186
	51	0.067	0.096	0.181	0.000	0.048	0.022	0.107
	52	0.000	0.168	0.609	0.000	0.000	0.000	0.276
	53	0.000	0.043	0.124	0.114	0.000	0.000	0.115
	54	0.000	0.363	0.217	0.169	0.000	0.000	0.186
	55	0.172	0.090	0.173	0.000	0.133	0.000	0.117

【0062】

【表19】

溶接条件		対応ワイヤ
溶接電流	250A (DCEP)	
アーク電圧	30~32V	
溶接速度	25~30cm/分	
溶接姿勢	下向	
シールドガスの流量	25リットル/分	
予熱・パス間温度	176±15℃	ワイヤ No.1~No.26 ワイヤ No.29~No.55
	150±15℃	ワイヤ No.27、28

【表20】

溶接条件		対応ワイヤ
溶接電流	220A (DCEP)	
アーク電圧	24~26V	
溶接速度	20~30cm/分	
溶接姿勢	立向	
シールドガスの流量	25リットル/分	
予熱・パス間温度	176±15℃	ワイヤ No.1~No.26 ワイヤ No.29~No.55
	150±15℃	ワイヤ No.27、28

【0064】

【表21】

ワイヤ区分	引張性能合格範囲			衝撃性能 合格範囲
	0.2%耐力	引張強さ	伸び	
ワイヤ No.1~23	540MPa 以上	630~	17%以上	平均値、各測定 値がいずれも 27J 以上
ワイヤ No.31~55		760MPa		
ワイヤ No.24~30	470MPa 以上	560~ 690MPa	19%以上	

【0065】

【表22】

	No.	ワイヤ No.	シールド ガス	溶接金属の組成(質量%)					
				C	S i	M n	P	S	C u
実 施 例	1	1	100%CO ₂	0.036	0.22	0.48	0.017	0.015	0.019
	2	2	100%CO ₂	0.150	0.09	0.48	0.017	0.016	0.019
	3	3	80%Ar +20%CO ₂	0.079	0.23	0.68	0.015	0.013	0.019
	4	4	100%CO ₂	0.065	0.71	0.36	0.015	0.013	0.018
	5	5	75%Ar +25%CO ₂	0.079	0.28	0.60	0.015	0.013	0.019
	6	6	75%Ar +25%CO ₂	0.068	0.25	1.14	0.015	0.013	0.019
	7	7	80%Ar +20%CO ₂	0.042	0.26	0.64	0.013	0.015	0.013
	8	8	80%Ar +20%CO ₂	0.043	0.26	0.65	0.013	0.015	0.023
	9	9	100%CO ₂	0.083	0.26	0.56	0.015	0.013	0.018
	10	10	100%CO ₂	0.073	0.57	0.60	0.015	0.013	0.018
	11	11	100%CO ₂	0.073	0.29	0.60	0.015	0.013	0.018
	12	12	100%CO ₂	0.067	0.15	0.38	0.015	0.013	0.019
	13	13	100%CO ₂	0.130	0.26	0.61	0.015	0.013	0.019
	14	14	100%CO ₂	0.070	0.15	0.51	0.015	0.013	0.019
	15	15	100%CO ₂	0.070	0.15	0.51	0.015	0.013	0.019

【0066】

【表23】

	No.	溶接金属の組成(質量%)							
		Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	V	B	N
実施例	1	0.018	2.15	1.04	0.022	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	2	0.018	2.31	1.05	0.022	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	3	0.018	2.27	1.01	0.045	0.009	0.022	0.002	0.004
	4	0.018	2.24	1.14	0.023	0.007	0.021	0.005	0.004
	5	0.018	2.29	1.01	0.043	0.009	0.022	0.002	0.004
	6	0.018	2.34	1.09	0.044	0.009	0.024	0.004	0.004
	7	0.020	2.19	0.93	0.046	0.009	0.024	0.002	0.005
	8	0.012	2.28	0.97	0.047	0.009	0.024	0.003	0.005
	9	0.018	2.47	1.11	0.023	0.007	0.021	0.004	0.004
	10	0.018	2.25	1.10	0.023	0.007	0.020	0.004	0.004
	11	0.018	2.26	1.10	0.022	0.007	0.020	0.004	0.004
	12	0.018	2.20	1.05	0.018	0.005	0.014	0.003	0.004
	13	0.018	2.18	1.16	0.025	0.008	0.026	0.003	0.004
	14	0.018	2.17	1.12	0.022	0.007	0.020	0.003	0.004
	15	0.018	2.19	1.10	0.022	0.006	0.020	0.003	0.004

【0067】

【表24】

	No.	溶接作業性 評価結果	放射線透過試験			PWHT 条件 (℃×時間、炉冷)
			評価		備考	
実施例	1	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	2	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	3	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	4	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	5	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	6	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	7	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	8	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	9	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	10	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	11	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	12	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	13	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	14	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	15	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1

【0068】

【表25】

	No.	引張試験結果			衝撃試験結果			
		0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	試験値(J)			平均 (J)
実施例	1	553	638	23	35	59	64	53
	2	599	669	22	32	47	73	51
	3	663	738	24	52	72	98	74
	4	635	694	19	53	64	85	67
	5	680	748	24	52	59	89	67
	6	627	710	22	52	61	99	71
	7	639	709	25	54	64	81	66
	8	683	747	25	51	55	96	67
	9	634	696	19	50	64	97	70
	10	632	691	19	55	74	89	73
	11	580	655	20	50	61	93	68
	12	567	622	22	55	69	82	69
	13	594	703	23	51	73	90	71
	14	541	632	25	59	66	72	66
	15	559	640	24	56	69	82	69

【0069】

【表26】

	No.	ワイヤ No.	シールド ガス	溶接金属の組成(質量%)					
				C	Si	Mn	P	S	Cu
実施例	16	16	100%CO ₂	0.073	0.57	0.60	0.015	0.013	0.018
	17	17	100%CO ₂	0.075	0.59	0.45	0.015	0.013	0.018
	18	18	100%CO ₂	0.067	0.25	0.38	0.015	0.013	0.019
	19	19	100%CO ₂	0.131	0.28	0.56	0.016	0.013	0.019
	20	20	80%Ar +20%CO ₂	0.041	0.37	0.92	0.009	0.010	0.016
	21	21	100%CO ₂	0.049	0.45	0.49	0.009	0.010	0.016
	22	22	100%CO ₂	0.035	0.41	0.61	0.007	0.012	0.018
	23	23	100%CO ₂	0.040	0.39	0.60	0.010	0.010	0.019
	24	24	100%CO ₂	0.063	0.30	0.68	0.015	0.013	0.019
	25	25	100%CO ₂	0.039	0.30	0.71	0.010	0.010	0.016
	26	26	100%CO ₂	0.034	0.40	0.62	0.006	0.012	0.018
	27	27	100%CO ₂	0.051	0.30	0.68	0.015	0.013	0.019
	28	28	100%CO ₂	0.027	0.30	0.70	0.009	0.010	0.016
	29	29	100%CO ₂	0.052	0.31	0.37	0.015	0.013	0.019
	30	30	100%CO ₂	0.027	0.31	0.39	0.010	0.010	0.016

【0070】

【表27】

	No.	溶接金属の組成(質量%)							
		Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	V	B	N
実施例	16	0.018	2.25	1.06	0.041	0.006	0.019	0.004	0.004
	17	0.018	2.28	1.09	0.096	0.007	0.020	0.005	0.004
	18	0.018	2.19	1.05	0.018	0.005	0.014	0.003	0.004
	19	0.018	2.18	1.16	0.025	0.008	0.025	0.003	0.004
	20	0.016	2.33	0.99	0.045	0.009	0.024	0.004	0.006
	21	0.015	2.30	1.15	0.023	0.006	0.011	0.004	0.006
	22	0.109	2.07	1.13	0.022	0.006	0.020	0.004	0.014
	23	0.040	2.14	1.16	0.022	0.006	0.021	0.004	0.016
	24	0.018	1.33	0.52	0.023	0.007	0.021	0.004	0.004
	25	0.015	1.33	0.52	0.023	0.007	0.021	0.004	0.006
	26	0.109	1.22	0.56	0.022	0.006	0.020	0.004	0.015
	27	0.018	0.02	0.52	0.023	0.007	0.021	<0.002	0.004
	28	0.015	0.02	0.52	0.023	0.007	0.021	<0.002	0.006
	29	0.018	0.55	0.52	0.023	0.007	0.021	<0.002	0.004
	30	0.015	0.55	0.52	0.023	0.007	0.021	<0.002	0.006

【0071】

【表28】

	No.	溶接作業性 評価結果	放射線透過試験			PWHT 条件 (℃×時間、炉冷)
			評価		備考	
実施例	16	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	17	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	18	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	19	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	20	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	21	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	22	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	23	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	24	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	25	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	26	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	27	良好	良好	JIS 1 級	—	620×1
	28	良好	良好	JIS 1 級	—	620×1
	29	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1
	30	良好	良好	JIS 1 級	—	690×1

【0072】

【表29】

	No.	引張試験結果			衝撃試験結果			
		0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	試験値 (J)			平均 (J)
実施例	16	655	705	19	78	96	139	104
	17	674	724	19	79	96	131	102
	18	568	636	22	56	54	97	69
	19	595	702	24	52	75	87	71
	20	681	735	23	52	76	91	73
	21	551	639	19	53	81	89	74
	22	573	651	26	54	75	98	76
	23	554	625	24	55	71	92	73
	24	563	634	23	60	69	77	69
	25	593	653	24	52	67	87	69
	26	596	656	23	65	77	98	80
	27	551	638	28	43	68	72	61
	28	535	623	27	45	65	75	62
	29	575	645	24	45	68	76	63
	30	548	639	24	47	69	71	62

【0073】

【表30】

	No.	No.	シールド ガス	溶接金属の組成(質量%)					
				C	Si	Mn	P	S	Cu
比較 例	54	31	100%CO ₂	0.235	0.57	0.61	0.017	0.016	0.018
	55	32	80%Ar +20%CO ₂	0.047	0.09	0.31	0.016	0.016	0.019
	56	33	100%CO ₂	0.037	0.79	0.39	0.017	0.016	0.018
	57	34	80%Ar +20%CO ₂	0.064	0.71	0.29	0.017	0.015	0.019
	58	35	100%CO ₂	0.058	0.29	0.94	0.017	0.016	0.019
	59	36	75%Ar +25%CO ₂	0.044	0.29	0.53	0.015	0.018	0.007
	60	37	80%Ar +20%CO ₂	0.057	0.20	0.42	0.017	0.016	0.182
	61	38	80%Ar +20%CO ₂	0.037	0.23	0.48	0.015	0.018	0.016
	62	39	80%Ar +20%CO ₂	0.057	0.21	0.42	0.017	0.016	0.019
	63	40	100%CO ₂	0.085	0.20	0.65	0.017	0.015	0.018
	64	41	100%CO ₂	0.072	0.52	0.71	0.017	0.015	0.019
	65	42	100%CO ₂	0.036	0.29	0.48	0.017	0.016	0.019
	66	43	100%CO ₂	0.036	0.29	0.48	0.017	0.016	0.019
	67	44	100%CO ₂	0.036	0.29	0.48	0.017	0.016	0.019
	68	45	100%CO ₂	0.038	0.55	0.75	0.017	0.015	0.018

【0074】

30 【表31】

	No.	溶接金属の組成(質量%)							
		Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	V	B	N
比較例	54	0.018	2.10	1.05	0.023	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	55	0.018	2.43	0.99	0.042	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	56	0.018	2.01	1.03	0.025	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	57	0.018	2.26	0.96	0.046	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	58	0.018	2.17	0.96	0.024	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	59	0.060	2.24	1.06	0.025	<0.005	<0.005	<0.002	0.005
	60	0.019	2.32	1.15	0.041	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	61	0.007	2.02	0.93	0.025	<0.005	<0.005	<0.002	0.005
	62	0.150	2.21	0.93	0.043	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	63	0.018	2.75	0.95	0.024	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	64	0.018	2.46	0.32	0.024	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	65	0.018	2.15	1.52	0.023	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	66	0.018	2.08	1.12	0.018	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	67	0.018	2.08	1.12	0.026	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	68	0.018	2.37	1.03	0.024	<0.005	<0.005	<0.002	0.004

【0075】

【表32】

	No.	溶接作業性 評価結果	放射線透過試験			PWHT 条件 (℃×時間、炉冷)
			評価		備考	
比較例	54	良好	不良	JIS1級以下	HC、BH	690×1
	55	不良	不良	JIS1級以下	BH	690×1
	56	不良	良好	JIS1級	—	690×1
	57	不良	不良	JIS1級以下	BH	690×1
	58	不良	良好	JIS1級	—	690×1
	59	良好	良好	JIS1級	—	690×1
	60	良好	良好	JIS1級	—	690×1
	61	良好	良好	JIS1級	—	690×1
	62	良好	良好	JIS1級	—	690×1
	63	良好	良好	JIS1級	—	690×1
	64	良好	良好	JIS1級	—	690×1
	65	良好	良好	JIS1級	—	690×1
	66	不良	良好	JIS1級	—	690×1
	67	不良	不良	JIS1級以下	SI	690×1
	68	不良	不良	JIS1級以下	BH	690×1

【0076】

【表33】

	No.	引張試験結果			衝撃試験結果		
		0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	試験値 (J)		平均 (J)
比較例	54	評価せず			評価せず		—
	55	530	603	21	7	18	25
	56	586	645	17	7	8	8
	57	535	629	20	12	18	21
	58	558	662	23	32	42	63
	59	585	672	21	7	15	68
	60	534	615	19	28	34	69
	61	552	642	23	6	12	60
	62	535	618	24	28	28	61
	63	699	773	16	9	10	13
	64	533	615	16	16	19	23
	65	683	765	15	17	21	23
	66	598	663	22	47	59	76
	67	560	639	17	32	61	75
	68	578	643	22	7	7	11

【0077】

【表34】

	No.	ワイヤ No.	シールド ガス	溶接金属の組成(質量%)					
				C	Si	Mn	P	S	Cu
比較例	69	46	100%CO ₂	0.083	0.26	0.49	0.017	0.015	0.018
	70	47	100%CO ₂	0.071	0.38	0.38	0.017	0.015	0.018
	71	48	100%CO ₂	0.071	0.38	0.38	0.017	0.015	0.018
	72	49	75%Ar +25%CO ₂	0.083	0.24	0.44	0.017	0.016	0.019
	73	50	100%CO ₂	0.075	0.34	0.42	0.017	0.016	0.018
	74	51	100%CO ₂	0.042	0.02	0.28	0.016	0.016	0.019
	75	52	100%CO ₂	0.036	0.15	0.48	0.017	0.016	0.019
	76	53	100%CO ₂	0.068	0.02	0.28	0.017	0.016	0.019
	77	54	100%CO ₂	0.075	0.34	0.42	0.017	0.016	0.018
	78	55	100%CO ₂	0.036	0.80	0.25	0.017	0.016	0.018

【0078】

【表35】

	No.	溶接金属の組成(質量%)							
		N i	C r	M o	T i	N b	V	B	N
比較例	69	0.018	2.14	1.00	0.023	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	70	0.018	2.14	1.00	0.024	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	71	0.018	2.14	1.00	0.024	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	72	0.018	2.34	1.02	0.043	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	73	0.018	2.15	1.11	0.025	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	74	0.018	2.24	1.00	0.020	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	75	0.018	2.09	1.12	0.018	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	76	0.018	2.09	0.96	0.020	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	77	0.018	2.15	1.11	0.018	<0.005	<0.005	<0.002	0.004
	78	0.018	2.08	1.03	0.025	<0.005	<0.005	<0.002	0.004

【0079】

【表36】

	No.	溶接作業性 評価結果	放射線透過試験			PWHT 条件 (℃×時間、炉冷)
			評価		備考	
比較例	69	不良	良好	JIS1級	—	690×1
	70	不良	不良	JIS1級以下	BH、SI	690×1
	71	不良	良好	JIS1級	—	690×1
	72	不良	不良	JIS1級以下	SI	690×1
	73	不良	不良	JIS1級以下	SI	690×1
	74	不良	不良	JIS1級以下	BH	690×1
	75	不良	良好	JIS1級	—	690×1
	76	不良	不良	JIS1級以下	BH、SI	690×1
	77	不良	不良	JIS1級以下	SI	690×1
	78	不良	不良	JIS1級以下	BH	690×1

【0080】

【表37】

	No.	引張試験結果			衝撃試験結果			
		0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	試験値 (J)			平均 (J)
比較例	69	564	638	23	45	59	93	66
	70	572	648	23	11	18	18	16
	71	578	645	23	32	49	65	49
	72	635	715	22	29	42	61	44
	73	625	703	21	32	49	58	46
	74	528	625	13	7	7	9	8
	75	560	652	22	29	31	45	35
	76	531	607	11	10	12	15	12
	77	608	675	22	34	42	42	39
	78	521	608	11	6	7	9	7

【0081】上記表22乃至37に示すように、実施例No. 1乃至30はスラグ造滓剤、C、Si、Mn、Cu、Ni、Cr、Mo、TiO₂、金属弗化物及びMgの含有量がいずれも本発明の請求項1を満足している。このため、溶接作業性、放射線性能が良好であり、引張性能及び衝撃性能はいずれも良好、かつ上記表21に示す合格性能を満足するものであった。特に、実施例No. 1及び2を除いた実施例No. 3乃至30はP及びSの含有量を0.015質量%以下に規制し、また、実施例No. 3乃至26はBを0.05乃至0.020質量%の範囲内で添加し、更に、実施例No. 16及び17はTiを0.02乃至0.3質量%の範囲内で添加したものである。これらを以下の4つのグループに分類した。

グループ①ワイヤNo. 1及び2：P、S制限なし、B添加なし、Ti添加なし

グループ②ワイヤNo. 27乃至30：P、S制限あり、B添加なし、Ti添加なし

グループ③ワイヤNo. 3乃至26：P、S制限あり、B添加あり、Ti添加なし

グループ④ワイヤNo. 16及び17：P、S制限あり、B添加あり、Ti添加あり

【0082】これらの4つのグループの衝撃性能を比較すると、①<②≤③<④の順番で衝撃性能がより一層良好になるという傾向が確認された。従って、請求項3を満足する実施例No. 16及び17はその特性がより一層良好なものであった。

【0083】一方、比較例No. 54はCの含有量が本発明の上限値を超えており、溶接作業性に支障はなかったものの、溶着金属にCに起因した高温割れ及びブローホールが発生した。この高温割れは溶接直後でも目視で判別できる長さのものであった。このため、放射線透過試験のみ実施し、引張試験及び衝撃試験は実施しなかった。

【0084】比較例No. 55はSiの含有量が本発明の下限値未満であるため、溶接作業性の面では、溶融金属の粘性が不足し、立向溶接においてビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。また、脱酸不足となり、ブローホールが発生し、引張性能及び衝撃性能も上記表21に示す合格性能を得ることができなかった。比較例No. 56はSiの含有量が本発明の上限値を超えており、溶接作業性の面では、溶融金属の粘性が不足し、立向溶接においてビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。一方、放射線透過試験で溶接欠陥は発見されなかったものの、P W H Tにより溶着金属が脆化し、衝撃性能が上記表21に示す合格性能を満足することができなかった。

【0085】比較例No. 57はMnの含有量が本発明の下限値未満であり、溶接作業性の面では、立向溶接時に、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。また、脱酸不足となり、ブローホールが発生して放射線性能が不良であった。また、引張性能及び衝撃性能も上記表21に示す合格性能を満足することができなかった。比較例No. 58はMnの含有量が本発明の上限値を超えており、溶接作業性の面では、溶融金属の流動性が過剰となり、立向溶接において、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。放射線性能に支障はなく、引張性能及び衝撃性能も上記表21に示す合格性能を満足した。

【0086】比較例No. 59はCuの含有量が本発明の下限値未満である。このため、衝撃性能に大きなバラツキが認められ、衝撃性能の安定性を欠くものであった。なお、溶接作業性及び放射線性能に支障は認められなかった。比較例No. 60はCuの含有量が本発明の上限値を超えているので、引張性能が上記表21に示す合格性能を満足しなかった。一方、衝撃性能に支障は認められなかった。

【0087】比較例No. 61はNiの含有量が本発明の下限值未満であるので、衝撃性能に大きなバラツキが認められ、衝撃性能の安定性を欠くものであった。比較例No. 62はNiの含有量が本発明の上限値を超えているので、引張性能が上記表21に示す合格性能を満足することができなかった。なお、溶接作業性、放射線性能及び衝撃性能には支障が認められなかった。

【0088】比較例No. 63はCrの含有量が本発明の上限値を超えているので、強度が過度となり、上記表21に示す合格性能を満足していない。また、溶着金属の脆化が助長されたため、靱性も低下した。なお、溶接作業性及び放射線性能に支障が認められなかった。

【0089】比較例No. 64はMoの含有量が本発明の下限值未満であるので、引張性能及び衝撃性能が上記表21に示す合格性能を満足していない。溶接作業性及び放射線性能に支障は認められなかった。比較例No. 65はMoの含有量が本発明の上限を超えているので、強度が過度となり、上記表21に示す合格性能を満足していない。また、溶着金属の脆化が助長されたため、靱性も低下した。なお、溶接作業性及び放射線性能に支障が認められなかった。

【0090】比較例No. 66はTiO₂の含有量が本発明の下限值未満であり、溶接作業性の面においては、アーク安定性が悪く、スパッタ発生量が増大し、更に立向溶接作業時にはビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。なお、溶接作業性及び放射線性能に支障が認められなかった。比較例No. 67はTiO₂の含有量が本発明の上限値を超えており、溶接作業性の面では、立向溶接作業時に、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。また、スラグ巻込みが発生し、放射線性能も劣った。

【0091】比較例No. 68はMgの含有量が本発明の下限值未満であり、溶接作業性の面では、立向溶接作業時に、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。また、脱酸不足となりブローホールが発生し、放射線性能が不良となり、更に衝撃性能も上記表21に示す合格性能を満足することができなかった。

【0092】比較例No. 69はMgの含有量が本発明の上限値を超えており、溶接作業性の面では、スパッタ発生量が増大し、かつ溶融金属の流動性が過剰となり、立向溶接作業時に、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。なお、引張性能及び衝撃性能に支障が認められなかった。

【0093】比較例No. 70は弗化物の含有量がF換算値で本発明の下限值未満であり、溶接作業性の面では、アーク安定性が損なわれ、かつ溶融スラグの粘性が調整できず立向溶接において、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。更に溶融金属からスラグの浮上及び分離が損なわれ、結果として脱酸不足となり、衝撃性能について上記表21に示す合格性能を満足

していない。また、放射線性能もブローホールとスラグ巻込みとが発生し不良であった。なお、引張性能に支障は認められなかった。

【0094】比較例No. 71は弗化物の含有量がF換算値で本発明の上限値を超えており、溶接作業性の面において、スラグの流動性が過剰となり、結果としてスラグの被包性が損なわれ、立向溶接時に、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。なお、放射線性能、引張性能及び衝撃性能に支障が認められなかった。

【0095】比較例No. 72はスラグ造滓剤の含有量が本発明の下限值未満であり、溶接作業性の面においては、スラグ量が不足してビード外観が劣化すると共に、立向溶接においてはビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。また、スラグ剥離性も損なわれ、部分的に焼き付きが発生した。このことから、スラグ巻込みが生じ、放射線性能も不良となった。なお、引張性能及び衝撃性能に支障は認められなかった。

【0096】比較例No. 73はスラグ造滓剤の含有量が本発明の上限値を超えており、溶接作業性の面では、立向溶接時に、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。また、スラグ量が過剰となって、溶接時にスラグが定常的にビード表面を覆ってしまうスラグの先行現象が生じ、このことから、スラグ巻込みが発生して放射線性能が劣化した。なお、引張性能及び衝撃性能に支障が認められなかった。

【0097】比較例No. 74はSi及びMnの含有量がいずれも本発明の下限值未満であり、溶接作業性の面では、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。更に、脱酸不足からブローホールが発生し、放射線性能が劣化すると共に、引張性能及び衝撃性能も上記表21に示す合格性能を満足することができなかった。

【0098】比較例No. 75はTiO₂の含有量が本発明の下限值未満であると共に、弗化物の含有量が本発明の上限値を超えている。溶接作業性の面ではスパッタ発生量が増大すると共に、立向溶接において、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。なお、放射線性能、引張性能及び衝撃性能に支障は認められなかった。

【0099】比較例No. 76はスラグ造滓剤、Si及びMnの含有量がいずれも本発明の下限值未満であり、溶接作業性の面では、溶融金属の粘性が不足して立向溶接においては、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。また、スラグ被包離性も損なわれ、部分的に焼き付きが発生し、スラグ巻込みが生じた。このため、放射線性能は不良であった。また、脱酸不足からブローホールも発生し、引張性能及び衝撃性能が上記表21に示す合格性能を満足しなかった。

【0100】比較例No. 77はスラグ造滓剤の含有量が

本発明の上限値を超え、 TiO_2 の含有量が本発明の下
 限値未満であり、溶接作業性の面では、アーク安定性が
 損なわれてスパッタ発生量が増大すると共に、立向溶接
 においては、ビード形状が凸になった。即ち、ビード形
 状が不良であった。また、スラグ量が過剰となり、溶接
 時にスラグの先行現象が生じ、スラグ巻込みが発生し、
 放射線性能が不良となった。

【0101】比較例No.78はSiの含有量が本発明の
 上限値を超え、Mnの含有量が本発明の下限値未満であ
 る。溶接作業性の面では、立向溶接において、ビード形
 状が凸になった。即ち、ビード形状が不良であった。ま
 た、Siの含有量が過剰であることから、溶着金属の脆
 化が著しく、衝撃性能が劣化した。一方、Mnの含有量
 が不足していることにより生じた脱酸不足によって、ブ
 ローホールも発生し、放射線性能が劣化すると共に、引
 張性能及び衝撃性能が上記表21に示す合格性能を満足
 することができなかった。

【0102】第2実施例

第1実施例で使用したフラックス入りワイヤのうち、ワ
 イヤNo.1乃至23を使用し、第1実施例と同様にして
 溶接し図1に示す試験板を作製した。この各試験板につ
 いて、PWH T後、フェライトバンドの発生の有無の確

認並びに引張試験及び衝撃試験を実施した。なお、PW
 HTは690℃で19時間保持し、その後炉冷した。ま
 た、引張試験及び衝撃試験は第1実施例と同様にして行
 った。

【0103】フェライトバンドの発生の有無の確認は、
 以下のとおりに行った。即ち、PWH T後、試験板の溶
 着金属部分から溶接線方向に対して均等な間隔で、溶着
 金属の断面ミクロ組織観察用試験片を6個採取した。そ
 して、試験片に研磨及びエッチングした後、これを光学
 顕微鏡にて観察し、フェライトバンドの有無を確認し
 た。評価は、6断面中にフェライトバンド（偏析）の発
 生した面がいくつあるのか、その発生率を下記数式1に
 より求めて評価した。

【0104】

【数1】

発生率＝フェライトバンドが発生した面の数／6

【0105】この発生率が33%未満であるものを合格
 とし、発生率が33%以上のものを不合格とした。この
 結果を表38乃至41に示す。

【0106】

【表38】

	No.	ワイヤ No.	シールド ガス	PWHT 条件 (℃×時間、 炉冷)	フェライトバンド 発生有無確認結果	
					評価	発生率
実 施 例	31	1	100%CO ₂	690×19	合格	16%
	32	2	100%CO ₂	690×19	合格	16%
	33	3	80%Ar +20%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	34	4	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	35	5	75%Ar +25%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	36	6	75%Ar +25%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	37	7	80%Ar +20%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	38	8	80%Ar +20%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	39	9	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	40	10	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	41	11	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	42	12	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	43	13	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	44	14	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	45	15	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず

【0107】

30 【表39】

	No.	引張試験結果			衝撃試験結果			
		0.2%耐力 (MP a)	引張強さ (MP a)	伸び (%)	試験値 (J)			平均 (J)
実 施 例	31	463	545	20	65	75	79	73
	32	502	571	19	65	78	92	78
	33	555	630	21	69	98	102	90
	34	532	593	17	74	76	105	85
	35	570	639	21	60	75	110	82
	36	525	606	19	65	97	107	90
	37	535	606	22	65	78	102	82
	38	572	638	22	68	88	110	89
	39	531	594	17	61	97	115	91
	40	529	591	17	63	98	114	92
	41	486	559	18	67	82	93	81
	42	475	531	19	67	87	105	86
	43	498	600	20	72	82	118	91
	44	453	540	22	73	89	109	90
	45	468	547	21	65	81	105	84

【0108】

【表40】

	No.	ワイヤ No.	シールド ガス	PWHT 条件 (℃×時間、 炉冷)	フェライトバンド 発生有無確認結果	
					評価	発生率
実施例	46	16	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	47	17	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	48	18	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	49	19	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	50	20	80%Ar +20%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	51	21	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	52	22	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず
	53	23	100%CO ₂	690×19	合格	発生せず

【0109】

【表41】

	No.	引張試験結果			衝撃試験結果			
		0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	試験値 (J)			平均 (J)
実施例	46	549	602	17	105	129	145	126
	47	565	618	17	100	125	138	121
	48	476	543	19	91	99	105	98
	49	498	600	21	78	89	110	92
	50	570	628	20	67	102	113	94
	51	462	546	17	67	112	112	97
	52	480	556	23	62	85	112	86
	53	464	534	21	65	105	110	93

【0110】上記表38乃至41に示すように、実施例No. 31乃至53はいずれもフェライトバンドの発生は合格範囲にあることが確認された。特に、Nb及びVを積極的に添加した実施例No. 33乃至53については、フェライトバンドの発生が認められず、ミクロ組織の安定性が高く、引張性能及び衝撃性能の安定性がより一層優れていることが確認された。

【0111】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、金属外皮及びフラックスのいずれか一方又は双方に添加さ

れる組成及び含有量を適切に規定しているので、溶接作業性並びに強度及び靱性等の機械的性質の両立を達成することができる。

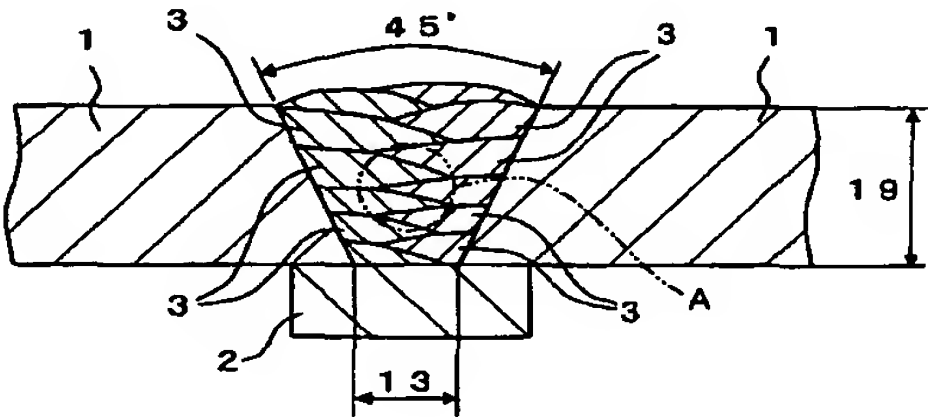
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例で作製される試験板を示す断面図である。

【符号の説明】

- 1；鋼板
- 2；裏当材
- 3；溶着金属

【図1】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4E084 AA02 AA17 BA03 BA04 BA05
BA06 BA08 BA09 BA11 BA12
BA13 BA14 CA03 CA25 CA26
DA10 GA05